

Chap 14 – Systèmes mécaniques oscillants

I) Présentation :

1) Oscillateur mécanique :

Un oscillateur mécanique est un système animé de mouvement périodiques, autour d'une position d'équilibre.

Exemples : balançoire, membrane d'un haut parleur, amortisseurs de voiture, diapason, ...

2) Pendules :

Un pendule pesant est un système oscillant en rotation autour d'un axe horizontal ne passant pas par son centre d'inertie.

exemples : balançoire, balancier d'une horloge

Un pendule simple est un pendule pesant simple constitué d'un petit solide, suspendu en un point fixe par un fil inextensible de longueur L , de masse négligeable.

Ecarté de sa position d'équilibre, il oscille sous l'action de son poids.

II) Etude du pendule simple :

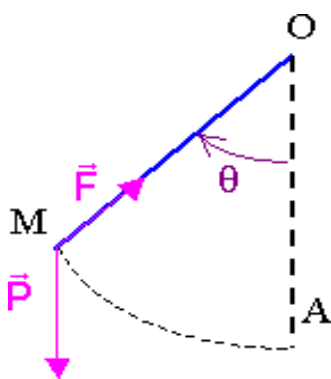
1) Oscillations libres non amorties :

Une oscillation est le trajet du pendule entre deux passages consécutifs par un point dans le même sens.

Les oscillations sont libres s'il n'y a aucune intervention extérieure.

Elles sont non amorties si les frottements peuvent être négligés.

2) Etude du mouvement



a) Grandeurs caractéristiques :

La position du pendule est repérée par l'angle orienté θ ou écart à l'équilibre, entre la verticale OA et la direction du fil.

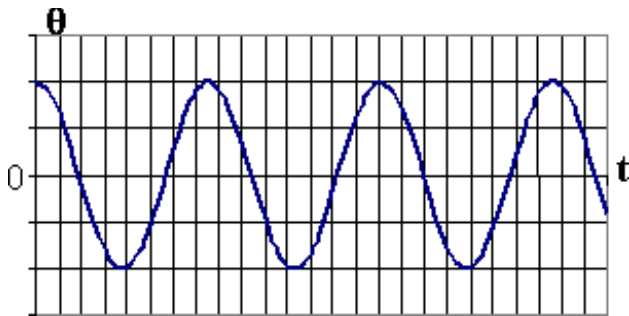
L'amplitude θ_m du mouvement est la valeur maximale de l'angle θ .

L'angle θ varie de $-\theta_m$ à $+\theta_m$.

La période T du mouvement du pendule est la durée séparant deux passages consécutifs par le même point, dans le même sens. (T en seconde (s))

La fréquence f est l'inverse de la période : $f = 1 / T$. (f en Hertz (Hz))

b) Etude expérimentale :



A l'aide d'un dispositif d'acquisition, on enregistre l'abscisse angulaire θ du pendule au cours du temps.

Pour un petit nombre d'oscillations, l'amplitude θ_m reste constante. Le mouvement du pendule est périodique.

La période T est la durée d'une oscillation.

Les oscillations sont libres et non amorties.

Si on poursuit l'expérience, les oscillations s'amortissent.

c) Etude théorique

La bille (système) est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Les forces appliquées sont le poids P et la force F (action du fil)

La force F du fil a une droite d'action passant par l'axe de rotation, il n'a donc pas d'effet sur le mouvement (cours 1eS). C'est aussi le cas du poids lorsque la bille est à la verticale du point A.

* Etude au repos :

On applique la 1^{ère} loi de Newton dans le référentiel terrestre : $P + F = 0$

Les forces se compensent et sont opposées.

Le pendule est en position d'équilibre à la verticale de O.

* Pendule écarté de sa position d'équilibre :

On applique la 2^{ème} deuxième loi de Newton dans le référentiel terrestre supposé galiléen :

La somme des forces extérieures appliquées à un solide est égale au produit de la masse du solide par l'accélération de son centre d'inertie : $P + F = m a$

Les forces ne se compensent pas, le vecteur vitesse varie.

Le poids ne passe pas par l'axe de rotation (sauf en A), il fait tourner le pendule autour de l'axe et tend à le ramener en position d'équilibre.

Les forces de frottement de l'air sont faibles mais non négligeables, elles amortissent le mouvement.

3) Période propre T_0 des petites oscillations libres, non amorties :

La période de petites oscillations du pendule simple ne dépend que des paramètres spécifiques du pendule, elle est nommée période propre T_0 : $T_0 = 2\pi\sqrt{L/g}$

Elle est indépendante de sa masse.

Analyse dimensionnelle :

Montrer que l'expression $2\pi\sqrt{L/g}$ a la dimension d'un temps.

$$[2\pi\sqrt{L/g}] = [L/g]^{1/2} = L^{1/2} \cdot [g]^{-1/2} = L^{1/2} \cdot (L \cdot T^{-2})^{-1/2} = T$$

4) Isochronisme de petites oscillations du pendule simple non amorti :

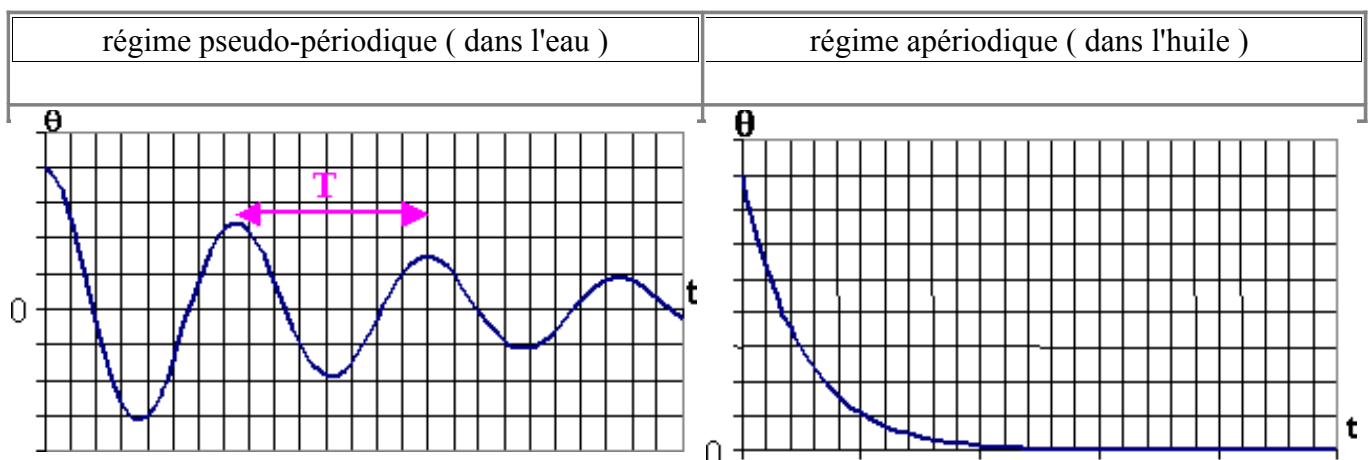
Si la période propre T_0 est indépendante de l'amplitude angulaire θ_m , alors il y a isochronisme des oscillations. C'est le cas si cette amplitude angulaire θ_m est inférieure à quelques degrés.

III) Oscillations libres amorties :

Les forces de frottement du milieu (air ou liquide) ne sont pas négligeables. On observe une diminution plus ou moins rapide de l'amplitude θ_m des oscillations.

L'énergie du pendule diminue, elle se transforme en chaleur transmise au milieu.

On distingue deux cas bien différents selon le milieu :



Lorsque les frottements ne sont pas trop grands, l'amplitude θ_m diminue et l'angle θ varie de façon pseudo-périodique.

La pseudo-période T des oscillations amorties du pendule est la durée séparant deux passages

successifs de l'oscillateur par la position au repos dans le même sens (ou par une position où l'abscisse angulaire θ_m est maximale dans le même sens).

Si l'amortissement est faible T est voisin de T_0 (période propre).

Dans l'huile visqueuse, la bille, écartée de sa position d'équilibre puis lâchée, revient vers cette position d'équilibre sans la dépasser, les frottements sont importants. Le régime est apériodique.

IV) Oscillations forcées et résonance :

1) Exemples :

Pour compenser l'amortissement des oscillations du aux forces de frottement, on peut fournir à l'oscillateur l'énergie perdue pour obtenir des oscillations forcées sinusoïdales périodiques.

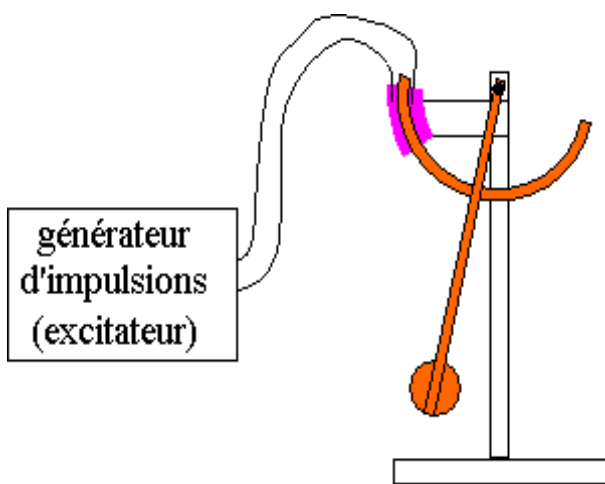
Le balancier d'une horloge est un oscillateur entretenu par la chute verticale progressive de "poids" que l'on doit remonter de temps en temps.

On peut aussi contrôler les oscillations d'un oscillateur en le forçant à osciller à une fréquence donnée. Le haut-parleur en est un exemple, la membrane est mise en vibration par un force qui a la même fréquence f que le courant délivré par un GBF.

2) Définition :

Un oscillateur, de fréquence propre f_0 (résonateur), subit des oscillations forcées s'il oscille à une fréquence f imposée par un oscillateur (excitateur).

3) Etude expérimentale



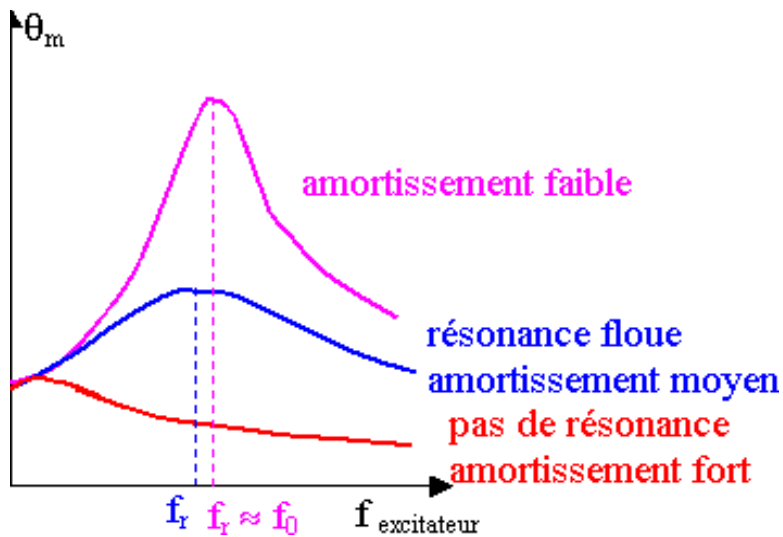
On soude un arc en fer sur le pendule qui peut entrer dans la bobine alimentée par un générateur d'impulsions,

(excitateur), de fréquence f réglable, qui impose une force de fréquence f au pendule.

On mesure l'amplitude des oscillations du pendule en changeant la fréquence f de l'excitateur.

L'amplitude du pendule est maximale pour une fréquence particulière f_R de l'excitateur.

Le pendule est en résonance.



La fréquence de résonance f_R est presque égale à la fréquence propre f_0 du pendule si l'amortissement est faible.

Si l'amortissement augmente (en changeant le milieu), l'amplitude des oscillations diminue, la fréquence de résonance diminue et la résonance devient plus floue.

Si l'amortissement est trop grand, il n'y a plus de résonance.

©Sciences Mont Blanc

Fiche réalisée par P.Bourton

Pour en savoir plus <http://montblancsciences.free.fr>